

Р. Р. Бекмансуров*, Л. М. Железняк

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**Grainys@yandex.ru*

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук *Л. М. Железняк*

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕРИЛЛИЕВЫХ БРОНЗ

Сплавы меди с бериллием зарекомендовали себя одними из наиболее важных и значимых в различных отраслях ввиду их уникального сочетания эксплуатационных характеристик. Положительные свойства этих сплавов наиболее полно проявляются в проволоках и прутках. Дифференцированный подход при выборе марки бронзы позволяет использовать изделия из них наиболее продуктивным образом. Схожий принцип выбора используют и зарубежные потребители. Перспективным направлением в разработке меднобериллиевых композиций является создание сплавов со сниженным содержанием бериллия и повышенным содержанием кобальта и никеля.

Ключевые слова: бериллиевые бронзы, прутки и проволока, служебные характеристики, российские и зарубежные стандарты, удовлетворение нормативных требований.

R. R. Bekmansurov, L. M. Zheleznyak

FEATURES OF PRODUCTION AND APPLICATION OF PRODUCTS FROM BERYLLIUM BRONZ

Alloys of copper and beryllium have proven among the most important and significant in various industries due to their unique combination of performance characteristics. Positive properties of these alloys are shown most completely in wires and bars. The differentiated approach to the choice of the grade allows the use of bronze products made of them the most productive method. A similar principle is used and the choice of foreign consumers. A promising direction in the development of beryllium copper compositions is to create alloys with lower beryllium content and a high content of cobalt and nickel.

Keywords: beryllium bronze, bars and wires, service characteristics, russian and international standards, satisfaction the regulatory requirements.

Продукция из разнообразных бронз находит широкое применение в различных сферах машино- и приборостроения, а также в электрических аппаратах и устройствах. Соответственно они разделены на две группы:

конструкционные (оловянные, кремниевые, алюминиевые, марганцевые и более сложного состава) и электротехнические (кадмиевая, магниевая, серебряная, хромовая, циркониевая), из них две последние – термоупрочняемые.

В этом широком марочном сортаменте бронз одними из наиболее важных являются сплавы меди с бериллием из-за высокопродуктивной совокупности физических, механических, антикоррозионных и других служебных свойств. Изделиям из бериллиевых бронз после термической и особенно после термдеформационной обработки (ТДО) присущи: высокие механические свойства – прочность, твердость, упругость, повышенная износостойкость; хорошая тепло- и электропроводность; устойчивость к коррозии, хладостойкость; они не дают искры при соударениях. Такое сочетание эксплуатационных характеристик позволяет использовать бериллиевые бронзы для изготовления пружин, мембран и других ответственных упругих элементов; применять в качестве материала для изготовления инструмента, работающего во взрывоопасных условиях; изготавливать из них электроды аппаратов контактной сварки.

Их эффективность подтверждена также с позиции коррозионной стойкости: они хорошо противостоят вредным атмосферным воздействиям и при высоких температурах показывают повышенную стойкость против окисления по сравнению с другими медными сплавами; следует отметить их устойчивость как в пресной, так и в морской воде и слабую склонность к межкристаллитной коррозии. Наибольшую опасность для изделий, эксплуатируемых под механическими напряжениями, составляют среды, содержащие влажный аммиак, а при повышенных температурах – галогены, вызывающие избирательную коррозию.

Изделия из меднобериллиевых сплавов в виде проволоки, горячепрессованных и холоднотянутых прутков (табл. 1) пользуются большим спросом и потребляются отечественными и зарубежными заказчиками. В соответствии с российскими марочными стандартами выпускается наиболее востребованная на рынке цветного металлопроката продукция из сплавов БрБ2; БрКБ2,5–0,5; БрБНТ1,7 (табл. 2), при этом содержание в них высокоценного бериллия не превышает 2 мас. %. Последнее определено тем, что при дальнейшем росте содержания бериллия прочностные свойства повышаются слабо, а пластические и особенно электротехнические характеристики существенно снижаются. Добавка 0,2–0,5 мас. % кобальта или никеля замедляет фазовые превращения при термообработке, что весьма важно при невозможности проведения закалки с высокой скоростью – например, для изделий крупного сечения. Положительный эффект этих легирующих элементов – это замедление процесса рекристаллизации сплавов и получение более однородной структуры. После проведения с температуры 780–800 °С быстрой закалки в воду и получения пересыщенного твердого раствора

легирующих в матрице полуфабрикаты из бериллиевых бронз обладают высокой пластичностью и успешно подвергаются холодной деформации с целью получения изделий надлежащей формы. Далее проводится следующий этап их облагораживания, – искусственное старение при температуре 300–320 °С, после чего изделия достигают высокого уровня твердости и прочности (табл. 1).

Требуемое сочетание прочностных и пластических характеристик получают варьированием режимов ТДО, причем наилучшие результаты характерны для проволоки, поскольку самые высокие качественные и количественные показатели продукции достигаются при максимально возможных степенях деформации. Согласно производственным данным для достижения предельно возможного для бериллиевых бронз уровня прочности волочение проволоки, выполняемое между закалкой и искусственным старением, должно проводиться с очень высокими степенями деформации – до 98–99 %. Такие режимы волочения вряд ли целесообразны в условиях серийного производства, они более реализуемы при мелкосерийном производстве.

Наибольшее число потребителей заказывает проволоку диам. 2–5 мм, изготавливаемую в твердом холоднодеформированном состоянии. Предприятия-заказчики обрабатывают ее способами холодной деформации, изготавливая различные изделия, а для обеспечения требуемого уровня свойств их подвергают завершающей операции искусственного старения, получая в конечном итоге детали с высоким уровнем эксплуатационных характеристик.

Сплавы меди с бериллием, в частности наиболее распространенная из них бронза марки БрБ2, находят широкое применение в качестве конструкционных материалов за счет уникальных свойств, удовлетворяющих жестким требованиям, предъявляемым к деталям различных машин, приборов и устройств (см. табл. 1).

Такому комплексному требованию в полной мере отвечают следующие марки бронз: БрБ2; БрБНТ1,7 и БрКБ2,5–0,5. Служебные свойства круглых холоднотянутых прутков диам. 15–40 мм из этих бронз, подвергнутых после закалки чистовому волочению с регламентированной степенью деформации и последующему старению, полностью отражены в табл. 1.

Сплавы БрБНТ1,7 и БрБНТ1,9 за счет сниженного содержания бериллия и введения легирующих добавок никеля и титана обладают следующими дополнительными преимуществами:

- хорошо модифицированной структурой и, следовательно, повышенной пластичностью, что исключает брак при штамповке мембран;
- стабильными упругими свойствами и соответственно в 1,5–2 раза повышенной циклической прочностью чувствительных элементов и пружин;

- повышенной стойкостью при нагреве во вредных атмосферах, в частности в аммиачной.

На основе проведения анализа служебных свойств полуфабрикатов наиболее целесообразным, с позиции потребителей, представляется следующий дифференцированный подход при выборе сплава с конкретным целевым уровнем эксплуатационных характеристик. Если в качестве доминирующих необходимы прочностные свойства, а электропроводности достаточно удовлетворительной, то предпочтительны марки БрБ2, БрБНТ1,7 и БрБНТ1,9. Если же требуются повышенные электротехнические свойства (электропроводность) при приемлемых значениях прочности и твердости, то наиболее подходящей является марка БрКБ2,5–0,5. Практически тот же принцип выбора используют и зарубежные потребители продукции из бериллиевых бронз. В частности, сплавы, согласно стандартам ASTM, разделены на две группы.

В зарубежной практике материалом для электродов аппаратов контактной сварки, испытывающих высокие контактные давления при повышенных температурных режимах, служат бронзы марок C17200 (по американскому стандарту ASTM B196) или CW101C (по европейскому стандарту ENBS 12163), которым хорошо соответствует российская марка БрБ2 (ГОСТ15835–70) (см. табл. 1). Одним из перспективных направлений в разработке меднобериллиевых композиций, сочетающих повышенную электропроводность и достаточные по условиям эксплуатации прочность и твердость, является создание сплавов с существенно сниженным до 0,3–0,5 мас. % содержанием дорогостоящего бериллия и повышенными до 1,5–2,0 мас. % добавками никеля или кобальта. Примером эффективного продвижения в этом направлении явилась организация производства прутков из меднобериллиевого сплава с повышенной электро- и теплопроводностью марок C17500 по ASTM B196 или CW101C по ENBS 12163. Этим маркам практически по всем параметрам соответствуют отечественный сплав БрКБ2,5–0,5 (ТУ 48-21-5049–74).

В заключение следует обратить внимание на важную для потребителей особенность изготовления деталей из бериллиевых бронз. При назначении допусков на размеры готовых деталей необходимо учесть, что фазовые превращения при старении полуфабрикатов приводят к снижению линейных размеров деталей на 0,2 %; при этом уменьшение объема составляет ~ 0,6 %.

Таблица 1

Сортамент выпускаемых полуфабрикатов из бериллиевых бронз по стандартам РФ (ГОСТ), США (ASTM) и Европы (ENBS)

Марки сплавов		Полуфабрикат, его размеры	Стандарт РФ	Зарубежные стандарты	Временное сопротивление разрыву, МПа	Твердость, HB	Электропроводность, % от меди
отечественные	зарубежные						
БрБ2	C17200 CW101C	Проволока диам. 2–5 мм	ГОСТ 15834 –77	ASTM B 197, ENBS 12166	≥ 1180	–	22–28
	C17200 CW101C	Прутки диам. 15–40 мм	ГОСТ 15835 –70	ASTM B 196, ENBS 12163	640–885	≥ 150	15–19
БрКБ2, 5–0,5	C17500	Прутки для электродов аппаратов контактной сварки диам. 15–40 мм	ТУ 48– 21– 5049– 74	ASTM B 534	–	180– 240	45–60
	CW104C	Прутки прессованные диам. 42–90 мм	–	ENBS 12163	–	–	–
БрБНТ 1,7		Пруток диам. 80 мм для изготовления из него труб	ГОСТ 15835 –70	–	–	–	–

Таблица 2

Химический состав бериллиевых бронз, %

Марка бронзы	Основные компоненты				Примеси, не более				Всего примесей	Стандарт на марки
	Be	Ni (Co)	Ti	Cu	Al	Fe	Si	Pb		
БрБ2	1,8– 2,1	0,2–0,5	–	ост.	0,15	0,15	0,015	0,005	0,5	ГОСТ 18175–78
БрКБ 2,5–0,5	0,4– 0,7	2,3–2,7 (Co)	–	ост.	0,15	0,15	0,15	0,005	0,5	ТУ 48– 21–5049– 74
БрБНТ1,7	1,6– 1,85	0,2–0,4	0,1– 0,25	ост.	0,15	0,15	0,15	0,005	0,5	ГОСТ 18175–78